

Sistemas avanzados para mejora de la seguridad en condiciones de meteorología adversa

José M^a Pardillo Mayora
Profesor Titular
ETSI Caminos, Canales y Puertos
Universidad Politécnica de Madrid

Roberto Llamas Rubio
Coordinador de seguridad vial
Dirección General de Carreteras
Ministerio de Fomento

INTRODUCCIÓN

Las condiciones meteorológicas adversas pueden afectar a la seguridad de la circulación de diversas formas. Por un lado, la existencia de hielo, nieve o agua sobre la calzada produce una disminución de la adherencia de los neumáticos al pavimento. Por otro, la niebla, la lluvia intensa o la nieve producen una disminución de la visibilidad. Finalmente, la existencia de vientos fuertes también puede comprometer la seguridad de los vehículos al afectar a su estabilidad y dificultar su maniobrabilidad.

De acuerdo con los resultados de una investigación subvencionada por el Ministerio de Fomento y desarrollada por la Universidad Politécnica de Madrid [1], el 9 % de los accidentes con víctimas y 10 % de las víctimas mortales que se registran en la Red del Estado se producen con meteorología adversa

Los accidentes con lluvia intensa suponen más de la mitad del total registrado con condiciones adversas, los accidentes con niebla o con la visibilidad restringida por las condiciones ambientales el 30 % y los accidentes con viento fuerte el 7 %. Los porcentajes de accidentes que se producen con nieve, granizo o con la calzada nevada o helada son inferiores al 5 % en cada caso, lo que indica que las operaciones preventivas de vialidad invernal resultan eficaces para evitar que se produzcan situaciones de riesgo.

Dos tercios de los accidentes con víctimas y más del 70% de las víctimas mortales que se produjeron en accidentes en condiciones meteorológicas adversas fueron atribuidos en los partes de accidentes a velocidades inadecuadas de alguno de los vehículos implicados o a distracciones de los conductores. En consecuencia, las medidas de mejora de la seguridad deben orientarse a conseguir que las velocidades se reduzcan,

que el nivel de atención de los conductores sea mayor y que los intervalos entre vehículos aumenten cuando existan estas condiciones.

La aplicación de los sistemas ITS para mejorar la seguridad en estas circunstancias se centra en dos campos:

- Los sistemas de información meteorológica vial.
- Los sistemas avanzados de advertencia al conductor de condiciones excepcionales de la carretera debidas a la meteorología.

En los siguientes apartados se analizan los principales desarrollos a nivel internacional en estos dos campos.

SISTEMAS DE INFORMACIÓN METEOROLÓGICA VIAL

El carácter esporádico de las precipitaciones y la presencia inmediata de hielo generan problemas serios de vialidad. Los usuarios de las carreteras de buena parte de España suelen ser inexpertos a la hora de conducir por calzadas con nieve o hielo y además la inmensa mayoría no van preparados para ello.

Otro de los problemas que surgen es la existencia de tramos discontinuos con problemas, muchas veces causados por el viento. Muchas de las precipitaciones registradas no son de gran intensidad, y una actuación rápida, que impida la formación de placas de hielo, puede ser suficiente. No obstante, la presencia de viento, sobre todo en zonas llanas y sin protección, puede generar la presencia de hielo o nieve en tramos cortos aislados, con el peligro que ello supone para el usuario.

Sucede lo mismo con la presencia de hielo en la calzada, en zonas de umbría aisladas, habitual a lo largo del invierno, y que hay que tratar con la debida anticipación.

Una gestión eficaz de las operaciones de vialidad invernal permite minimizar el tiempo en que la adherencia del pavimento se reduce, con lo que disminuye la probabilidad de que se produzcan accidentes. Los sistemas de información meteorológica vial (SIMV) se han convertido una importante herramienta para la gestión de la conservación invernal en los países del norte y el centro de Europa, en Norteamérica y en Japón, donde están siendo aplicados desde hace más de 20 años [2].

Los SIMV están constituidos por un conjunto de equipos y de aplicaciones informáticas que facilitan a las administraciones de carreteras el conocimiento y la predicción de las circunstancias meteorológicas adversas y de la evolución del estado de las carreteras. Esta información permite mejorar la eficacia de las intervenciones de los equipos de

vialidad e informar a los usuarios sobre el estado previsto de las carreteras con lo que se reduce el riesgo de accidentalidad. Según los datos obtenidos en los Estados Unidos, los sistemas de información meteorológica permiten disminuir el tiempo de tratamiento de las calzadas heladas hasta un 75%. Una vez efectuado el tratamiento, los índices de accidentes disminuyen un 85% en carreteras convencionales y un 78% en autopistas [3].

Los principales componentes de un SIMV son:

- Sensores atmosféricos que captan y transmiten datos de las temperaturas del aire, cantidad y tipo de precipitación, visibilidad, punto de rocío, humedad relativa e intensidad y dirección del viento.
- Sensores de estado de la calzada que captan y transmiten las temperaturas del pavimento, el firme y el terreno y del estado de la calzada (seco, mojado o helado).
- Mapas térmicos de las carreteras de la red.
- Modelos de predicción a corto plazo del estado de las carreteras integrando las predicciones meteorológicas generales, los datos captados por los sensores y por radares meteorológicos y la información estadística sobre la relación entre las condiciones meteorológicas locales y los valores de las variables atmosféricas principales.
- Sistema de comunicaciones para transmitir la información al ordenador central del sistema, a los sectores de conservación y a los conductores.

La información se obtiene mediante la instalación de estaciones de captación de datos en puntos significativos del itinerario. Los parámetros más importantes que se miden son la temperatura del pavimento, si está seco o mojado y la concentración del producto químico aplicado. También se vigilan las condiciones atmosféricas y la temperatura del terreno bajo la carretera. Esta información se transmite un ordenador central que los procesa para establecer recomendaciones sobre las operaciones de vialidad invernal a desarrollar. Además las previsiones permiten informar a los usuarios sobre el estado previsto de las carreteras.

La reducción del tiempo de tratamiento de las superficies afectadas por la helada permite limitar las consecuencias desfavorables en la seguridad de la circulación. De acuerdo con la experiencia en Estados Unidos [4], los sistemas de información meteorológica permiten disminuir el tiempo de tratamiento hasta un 75%. Una vez

efectuado el tratamiento, los índices de accidentes disminuyen un 85% en carreteras convencionales y un 78% en autopistas.

EXPERIENCIA INTERNACIONAL EN LA APLICACIÓN DE LOS SIMV

En Estados Unidos, la Administración Federal de Carreteras (FHWA) junto con los Departamentos de Transporte de Minnesota, Iowa, Dakota del Sur, Virginia y Wisconsin, la Agencia de Medio Ambiente de Canadá, el Ministerio de Transporte de Ontario y la Dirección General de Carreteras de Suecia han constituido un consorcio multinacional denominado *Aurora* con el fin de progresar en el campo de los SIMV. Entre los aspectos que se han encontrado como claves para el buen funcionamiento de los sistemas de gestión invernal está la integración de los datos. Con este fin se han desarrollado unas recomendaciones para el intercambio y la integración de los datos de SIMV [5]. El proyecto tiene como objetivo proporcionar a las administraciones de carreteras una herramienta que les permita obtener el máximo rendimiento de la información meteorológica vial disponible.

Al igual que en Estados Unidos, en Canadá se ha desarrollado una metodología de estimación de las condiciones de la carretera [6] con el fin de disminuir los impactos de la nieve y hielo en la seguridad vial, reducir el impacto ambiental de las operaciones de vialidad invernal y mejorar la eficacia del sistema de transportes.

En Europa, los países escandinavos han sido pioneros junto con el Reino Unido en la aplicación de los SIMV a la conservación invernal. En Dinamarca se vienen utilizando desde hace 20 años [7]. En la actualidad están instaladas más de 250 estaciones meteorológicas viales a lo largo de la red. El sistema de tratamiento de la información para el establecimiento de alarmas por condiciones meteorológicas adversas se basa en una estación central en la que se recibe y procesa la información de todas las estaciones meteorológicas viales y del Instituto de Meteorología y se transmiten los resultados a las distintas administraciones.

Por su parte, la Administración Nacional de Carreteras de Finlandia (FINNRA), ha desarrollado un SIMV con el objetivo de proporcionar al personal de conservación invernal la información sobre el estado de la calzada y la evolución del tiempo necesaria para el desarrollo eficaz de sus actividades [8]. El sistema consta de aproximadamente 270 estaciones meteorológicas viales distribuidas a lo largo de las carreteras principales de todo el país. La información captada incluye la temperatura del aire y de pavimento, el punto de rocío, el viento, la humedad, la precipitación, la visibilidad y el estado de la calzada. La información es transmitida a un ordenador central en intervalos que oscilan entre 15 y 60 minutos en el que se procesa y

almacena. La información obtenida permite programar las actividades de extendido de fundentes y de despeje de la nieve y optimizar la cantidad de sal que se aplica. Además el sistema se aprovecha para transmitir información precisa a los usuarios de las carreteras.

En Suecia, la Administración Nacional de Carreteras (SNRA) viene desarrollando desde 1985 uno de los SIMV más completos del mundo [9]. En la actualidad están instaladas más de 700 estaciones meteorológicas viales que permiten controlar el estado de las carreteras de la red sueca en tiempo real.

En Holanda se ha desarrollado un sistema de nacional de alerta de existencia hielo que abarca las carreteras nacionales y la red secundaria [10]. El sistema combina la información procedente de estaciones de captación de datos con los resultados de modelos meteorológicos regionales y los datos del radar meteorológico para obtener estimaciones de la temperatura del pavimento y de la evolución de las condiciones atmosféricas que se transmiten a los responsables de la explotación de las carreteras.

La Agencia de Carreteras del Reino Unido mantiene una política de desarrollo activo de nuevas técnicas de conservación invernal [11] con el objetivo de mejorar las condiciones de circulación en la Red Nacional durante el invierno y disminuir el número de accidentes. Para ello se están experimentando aplicaciones avanzadas de ITS, que combinan la información procedente de los SIMV con el empleo de mapas térmicos de la red para obtener estimaciones precisas de la evolución de las temperaturas de la calzada durante el desarrollo de las operaciones de vialidad invernal.

En la región francófona de Bélgica, se ha desarrollado un SIMV para optimizar el empleo de sal en operaciones preventivas de conservación invernal y conseguir el mayor nivel de seguridad posible para los usuarios de las carreteras durante el invierno [12]. El sistema permite anticipar los momentos en que se producirán condiciones peligrosas en la carretera debido a la meteorología y planificar las operaciones preventivas de extendido de fundentes.

SISTEMAS AVANZADOS DE ADVERTENCIA DE PELIGRO POR CONDICIONES METEOROLÓGICAS ADVERSAS

Los sistemas de advertencia a los conductores de las condiciones viarias excepcionales se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- a) Sistemas de información de las condiciones de la carretera antes de iniciar el viaje o durante su desarrollo, pero antes de alcanzar los tramos a los que se refiere la información.
- b) Sistemas de advertencia de peligro en el tramo inmediato al que atraviesa el conductor.

El primer tipo de sistemas de advertencia puede considerarse integrado en la categoría genérica de los Sistemas Avanzados de Información al Viajero (Advanced Traveler Information Systems, ATIS), cuya implantación está ya muy avanzada en España. Estos sistemas incluyen distintos medios de transmisión de la información: medios de comunicación públicos, sistemas específicos de radiodifusión (RDS), internet, consolas de información interactiva, líneas de información telefónica, paneles de mensaje variable, etc. La información que transmiten tiene su origen en una base de datos en la que se almacenan todos los datos de estado de la red viaria de que se dispone. Esta información se obtiene por distintos medios, desde los informes del personal de vigilancia y mantenimiento de la carretera hasta los datos captados por los equipos de detección automática de la información dispuestos a lo largo de la carretera. Los sistemas de telecomunicaciones y proceso de datos actuales permiten que la actualización de la información se produzca de forma inmediata. Si bien este tipo de sistemas resultan positivos para la seguridad vial, ya que permiten a los conductores elegir el momento y el itinerario más favorable para el recorrido que pretenden realizar, no permiten actuar sobre los riesgos concretos de accidente en puntos determinados, estando su eficacia limitada por el nivel de influencia que tiene la información transmitida en la elección del itinerario y momento de viaje por los conductores y por el grado de flexibilidad de estos.

Los sistemas avanzados de advertencia de peligro inmediato por condiciones meteorológicas adversas (SAAPMA) permiten prevenir a los conductores de situaciones de riesgo concretas al disponerse específicamente en los puntos de la carretera en los que se produce una situación de riesgo. Su implantación plantea una serie de problemas adicionales a los que se encuentran en los sistemas generales de información al viajero: en primer lugar, la localización de los puntos en los que se disponen estos sistemas es crítica para su eficacia y debe responder en cada momento a los puntos en los que se dan las condiciones críticas de riesgo, que no siempre son los mismos. Por otra parte, los sistemas sólo deben activarse cuando las circunstancias de la carretera y el entorno sean tales que exista un riesgo anormal de que se produzcan accidentes. Finalmente, es necesario que la advertencia de peligro se transmita por un procedimiento que capte la atención del conductor y que además

le induzca a adaptar su pauta de conducción a las circunstancias excepcionales de las que se le ha advertido.

La composición de los SAAPMA varía desde soluciones simples, consistentes en un sensor de temperatura que activa automáticamente una señal de advertencia de peligro, hasta otras muy complejas que requieren la existencia de un SIMV asociado para estimar las condiciones de un tramo y establecer límites de velocidad variables y activar las señales de precaución adecuadas. En todo caso, los elementos que componen un SAAPMA son los siguientes:

1. Dispositivos de detección de las condiciones desfavorables.
2. Dispositivos de transmisión de los mensajes de advertencia.
3. Elementos de control y accionamiento de sistema.

Los detectores que son necesarios en cada caso dependen de las condiciones del emplazamiento en que se va a disponer el sistema y del tipo de fenómenos ambiental que se produce en él. Los sensores que se emplean con mayor frecuencia son los siguientes:

- a) Sensores de visibilidad.
- b) Detectores de precipitación.
- c) Anemómetros.
- d) Sensores del estado del pavimento.
- e) Cámaras de televisión.
- f) Detectores de tráfico.

La transmisión de los mensajes de advertencia a los conductores en el lugar adecuado es presenta complicaciones, ya que las condiciones atmosféricas están sujetas a cambios frecuentes. Los dispositivos que se emplean para transmitir las advertencias de peligro y las recomendaciones a los conductores pueden ser:

1. Señales fijas con dispositivos destellantes.
2. Paneles de mensaje variable fijos.
3. Paneles de mensaje variable móviles montados sobre un remolque.

El control y accionamiento de un SAAPMA puede realizarse localmente mediante un controlador independiente dotado de un microprocesador y los correspondientes algoritmos de operación del sistema o a distancia, a través del sistema de gestión de tráfico instalado en el ordenador del centro de control de tráfico.

La implantación de SAAPMA plantea una serie de problemas adicionales respecto de los que se encuentran con la del resto de los sistemas de información a los usuarios. En primer lugar, la localización de las señales de advertencia resulta crítica para que resulten efectivas ya que deben situarse en los lugares en los que se producen las condiciones de riesgo. En consecuencia, para implantar AAWWS es necesario identificar con precisión los tramos en los que se dan condiciones meteorológicas adversas de forma recurrente.

Segundo, las advertencias sólo deben activarse cuando las condiciones que se registran supongan un riesgo significativo para la circulación. Los algoritmos que se empleen para activar las señales deben establecerse de forma que se minimicen las falsas alarmas para reforzar la fiabilidad del sistema.

Finalmente, es vital que la información se transmita de forma que atraiga la atención de los conductores y les induzca a adaptar sus pautas de circulación en función de las condiciones excepcionales de las que se les advierte. Las recomendaciones que se transmitan a los usuarios deben ser proporcionales a los niveles de riesgo reales, de forma que sean comprendidas y asumidas con facilidad por los usuarios. Su redacción debe ser clara y concisa y su contenido debe estar adaptado a las condiciones que se den en cada momento, incluyendo en él una recomendación de que acción debe llevar a cabo el conductor (moderar la velocidad, aumentar la distancia al vehículo precedente, etc.) o una cierta regulación de las condiciones de circulación (limitación de velocidad, prohibición de adelantamiento, obligación de circular por el carril derecho para los vehículos pesados, etc.).

EXPERIENCIA INTERNACIONAL EN LA APLICACIÓN DE SISTEMAS DE ADVERTENCIA DE PELIGRO POR METEOROLOGÍA ADVERSA

En California (Estados Unidos), el SAAPMA denominado *Caltrans Automated Fog Warning System* (CAWS) incluye 3 tramos de autopista que atraviesan una zona en la que se producen nieblas frecuentes desde octubre hasta abril. También se producen problemas de polvo en suspensión debidos a la existencia de vientos fuertes durante todo el año. El sistema incluye 9 estaciones meteorológicas equipadas con sensores de visibilidad, anemómetro, barómetro, termómetro, sensor del punto de rocío,

pluviómetro y un sistema de telemando y transmisión de datos. Además se dispone de 36 estaciones remotas de detección de tráfico con lazos de inducción dobles situados a una distancia media de 800 m con capacidad para medir intensidades, velocidades y ocupaciones, una red de cámaras de vigilancia de TV en circuito cerrado y 9 paneles de mensaje variable. El sistema detecta automáticamente las situaciones de visibilidad reducida y advierte a los usuarios a través de paneles de mensaje variable de las velocidades aconsejables. Se han establecido seis secuencias de mensajes distintas que se transmiten a los usuarios en función de las condiciones de visibilidad, velocidad del viento y velocidad de la circulación.

El primer mensaje de advertencia se transmite a los conductores a través de un panel de mensaje variable a 10 km de la zona en la que se producen las nieblas frecuentes. Los paneles adicionales están localizados cada 3 km aproximadamente hasta alcanzar la zona de baja visibilidad. En la actualidad se está desarrollando un proceso de evaluación que incluye los aspectos técnicos, de explotación y de la influencia en el comportamiento de los conductores. Aunque la evaluación todavía no se ha completado, resulta evidente que se ha producido una reducción en el número y la gravedad de los accidentes desde que se puso en servicio el sistema.

Para tratar los problemas de seguridad originados por las frecuentes nieblas debidas a la proximidad a la bahía de Mobile que se registran en un tramo de 10 km de la autopista I-10 se instaló en 2000 un SAAPMA que consta de una serie de detectores de visibilidad y de las condiciones de tráfico, incluyendo 6 detectores de niebla distanciados entre sí 1 km, 11 cámaras de TV con zoom y posibilidad de giro y 14 cámaras de TV fijas, 3 paneles fijos de mensaje variable con leds de alta intensidad y 1 panel de mensaje variable móvil. El sistema detecta las situaciones en que la niebla provoca una reducción de la visibilidad y alerta a los conductores. La advertencia anticipada de las condiciones de visibilidad limitada se transmite a través de los paneles de mensaje variable, complementada con límites de velocidad variables en función de la visibilidad. Las cámaras de vigilancia se activan cuando la velocidad media disminuye por debajo de 70 km/h.

Los mensajes de advertencia en función de la visibilidad son los siguientes:

a) Visibilidad < 270 m:

Los paneles de mensaje variable muestran “niebla próxima”

El límite de velocidad se mantiene en 100 km/h

b) Visibilidad < 180 m

Los paneles de mensaje variable muestran “niebla, reduzcan la velocidad, utilice luces de cruce, camiones mantengan la derecha”

El límite de velocidad se reduce a 90 km/h

c) Visibilidad < 140 m

Los paneles de mensaje variable muestran “niebla, reduzcan la velocidad, utilice luces de cruce, camiones mantengan la derecha”

El límite de velocidad se reduce a 70 km/h

d) Visibilidad < 85 m

Los paneles de mensaje variable muestran “niebla intensa, reduzcan la velocidad, utilice luces de cruce, camiones mantengan la derecha”

El límite de velocidad se reduce a 50 km/h

c) Visibilidad < 55 m

Se cierra la carretera y los paneles de mensaje variable desvían en tráfico a un itinerario alternativo.

En Carolina del Norte se instaló un SAAPMA en un tramo de 8 km de la autopista I-40 en el que debido a las inversiones de temperatura originadas por el trazado deprimido se produce frecuentemente la formación de niebla. El sistema incluye cinco detectores de niebla, seis cámaras de TV, una estación meteorológica vial y siete paneles fijos de mensaje variable con leds de alta intensidad. El sistema envía la información de la estación meteorológica vial y los cinco detectores de niebla al Centro de Control existente, en cuyo ordenador se procesan los datos activándose automáticamente los paneles de mensaje variable con el mensaje adecuado según la visibilidad disponible. Los paneles de advertencia están situados a 1,6 km de las zonas donde se forma la niebla. A lo largo de los últimos 15 años sólo se han registrado 3 colisiones múltiples por alcance relacionadas con la niebla, por lo que no ha sido posible realizar una evaluación de la reducción de accidentalidad conseguida. Sin embargo, se considera que la instalación de sistemas de advertencia de niebla son una medida preventiva a adoptar.

El proyecto ADVISE implantado en el área Metropolitana de Salt Lake City tiene como objetivo resolver los problemas de seguridad en los tramos bajos de la autopista I-215 que discurre por el valle del río Jordan en los que se producen nieblas localizadas debido a un fenómeno de inversión térmica. El sistema incluye 4 detectores de niebla, 2 estaciones de detección de tráfico y dos paneles de mensaje variable. Los mensajes

de advertencia transmitidos por los paneles de mensaje variable según los valores de visibilidad disponible son los siguientes:

- a) Visibilidad > 250 m: Sin mensaje
- b) Visibilidad 200- 250 m: “Niebla próxima”
- c) Visibilidad 150- 200 m: “Niebla densa” alternando con “Velocidad recomendada 80 km/h”
- d) Visibilidad 100- 150 m: “Niebla densa” alternando con “Velocidad recomendada 65 km/h”
- e) Visibilidad 60- 100 m: “Niebla densa” alternando con “Velocidad recomendada 50 km/h”
- f) Visibilidad <60 m: “Niebla densa” alternando con “Velocidad recomendada 40 km/h”

El ámbito del proyecto *Tennessee Fog Warning* incluye un tramo de 30 km de la autopista I-75 que discurre por un valle en el que es frecuente la formación de niebla debido a las inversiones de temperatura y la formación de vapor procedente de una fábrica de papel. Se han dispuesto detectores de niebla cada km y dos estaciones meteorológicas viales, así como 10 paneles de mensaje variable distanciados entre sí entre 2,5 y 5 km. La advertencia anticipada de las condiciones de visibilidad limitada se transmite automáticamente a los conductores a través de los paneles de mensaje variable, complementados con 10 señales de límite de velocidad variables y 6 señales fijas con luces destellantes. La primera advertencia se transmite aproximadamente a 5 km de la zona de acumulación de niebla. Cuando la visibilidad es extremadamente baja, la carretera se cierra y el mensaje de desvío del tráfico se transmite a 10 km. El sistema es muy eficaz para advertir a los conductores de la visibilidad reducida, con lo que se consigue que las velocidades disminuyan y que los índices de accidentes se reduzcan.

En Europa, la Administración de Carreteras de Finlandia ha llevado desde inicios de la década de 1990 a cabo un buen número de proyectos de desarrollo e implantación de límites de velocidad variables en función de las condiciones meteorológicas. En 1996 se desarrolló un estudio sobre la opinión de los conductores respecto de un proyecto piloto de limitación variable de la velocidad a lo largo de un tramo de 14 km en la costa sur del país [13]. El sistema consta de 36 señales variable de límite de velocidad y de 5 paneles de mensaje variable. Las condiciones de meteorológicas y de la calzada se controlan mediante las estaciones meteorológicas viales del SIMV que estaba ya en

servicio. La información obtenida permitía establecer la velocidad adecuada para el estado de la calzada y del tiempo, así como detectar las situaciones en las de calzada deslizante y transmitir las advertencias de peligro adecuadas. Los resultados de las encuestas realizadas mostraron que el 85% de los usuarios opinaban que los límites de velocidad establecidos eran adecuados y que el 95% consideraban que la información recibida resultaba útil. La conclusión del estudio fue que los SAAPMA eran una solución válida para mejorar la calidad de la circulación en condiciones adversas.

En varios tramos de las autopistas A-8 entre Salzburgo y Munich, A3 entre Sieburg y Colonia y A5 en las inmediaciones de Karlsruhe en Alemania se ha establecido un SAAPMA destinado a detectar situaciones de formación de niebla que provoquen visibilidad reducida y alertar a los conductores mediante la adecuada información de advertencia anticipada [14]. El sistema cuenta con un SIMV dotado de detectores de niebla, hielo y viento y señales variables de límite de velocidad variable cada 1,5 a 2 km. Tras su implantación se ha observado una reducción de los índices de accidentes en un 20 al 30 % y un mayor cumplimiento de las limitaciones de velocidad que con señales fijas.

En Holanda, en un tramo de 12 km de la autopista urbana A 16 cerca de Breda se encuentra instalado un sistema incluye una serie de detectores de visibilidad, un sistema de detección de incidentes y señales variables de límite de velocidad cada 700-800 m [15]. Los límites de velocidad en función de la distancia de visibilidad son los siguientes:

- a) Visibilidad > 140 m: 100 km/h
- b) Visibilidad 70-140 m: 80 km/h
- c) Visibilidad <70 m: 60 km/h
- d) Si se detecta un incidente el límite de velocidad se reduce a 50 km/h en la primera señal contigua y a 70 km/h en la segunda

Como resultado de la implantación de los límites variables de velocidad se ha producido una reducción de las velocidades medias en presencia de niebla de entre 8 y 10 km/h.

En España, la Universidad Politécnica de Madrid llevó a cabo pruebas piloto de disposición de SAAPMA apoyados en el empleo de dispositivos móviles de señalización variable en las que se realizó un registro continuo mediante detectores magnéticos de las velocidades de los vehículos en las secciones en las que se dispusieron los dispositivos de advertencia antes y después de su colocación y

activación [1].. Los registros obtenidos permitieron comparar las distribuciones de velocidades registradas en condiciones de restricción de visibilidad en ambas situaciones. Las velocidades medias registradas resultaron significativamente menores tras la activación de los paneles en los tres casos. De igual forma se produjo una reducción de la dispersión de velocidades. La reducción de la velocidad media superó el 20% en algunos casos, mientras que la disminución de la desviación típica de la distribución de velocidades llegó a ser del 30%. Estos resultados concuerdan con los que se han obtenido en otros países en experiencias similares [7]. A partir de estos resultados, y del análisis de la accidentalidad en los tramos en los que se produce una concentración significativa de accidentes con meteorología adversa, se llegó a estimar que la reducción de accidentalidad alcanzable con la implantación de SAAPMA se podría conseguir una reducción de más de 200 accidentes con víctimas al año, incluyendo 20 víctimas mortales. Los beneficios sociales anuales de esta disminución de la accidentalidad serían superiores al coste de instalación de los sistemas en la Red, que se estimó en 20 millones de euros.

CONCLUSIONES

Los sistemas de información meteorológica vial son en la actualidad una importante herramienta para la gestión de la conservación invernal en los países del norte y el centro de Europa, en Norteamérica y en Japón, donde están siendo aplicados sistemáticamente para estos fines desde hace más de 15 años. En todos estos países la implantación de los SIMV se plantea con el objetivo de mejorar la seguridad y la fluidez de la circulación, reducir los costes de la conservación invernal y limitar el impacto sobre el medio ambiente que se produce por el empleo de sales para eliminar el hielo o la nieve de la calzada.

Por otra parte, la experiencia internacional indica que la implantación de sistemas avanzados de advertencia de peligro puede ser una medida eficaz para resolver problemas localizados de seguridad en condiciones meteorológicas adversas, habiéndose obtenido en distintos países resultados positivos con reducciones importantes de la accidentalidad. Sin embargo, para que resulten eficaces, es necesario que se identifiquen con precisión los tramos en los que se producen de forma recurrente condiciones meteorológicas que dan lugar a un incremento del riesgo de que se produzcan accidentes y que se diseñe un sistema capaz transmitir a los conductores la información de una forma oportuna, fiable y eficaz que les induzca a adaptar sus pautas de conducción para compensar el nivel de riesgo originado por las condiciones ambientales.

REFERENCIAS

1. Pardillo Mayora, J.M. (2004): Aplicaciones ITS para aumentar la seguridad vial con meteorología adversa". Estudios de Construcción y Transportes nº 100, enero a junio 2004, pags. 29 a 50. Ministerio de Fomento, Madrid.
2. Ketcham, S et al (1996): "Manual of Practice for an Effective Anti-Icing Program. A Guide For Highway Winter Maintenance Personnel". Federal Highway Administration. Washington DC, Estados Unidos
3. SHRP (2002): "Anti-icing Techniques and Road Weather Information Systems Technologies". Anti-icing/RWIS Lead States Team. Strategic Highway Research Program, US Department of Transportation, Washington DC, Estados Unidos
4. Federal Highway Administration (1993): "Ice Detection and Highway Weather Information Systems". FHWA-SA-93-053. Washington D.C. Estados Unidos
5. Agah, M y Pape, C (2002): "Road Weather Information Systems (RWIS) Data Integration Guidelines". AURORA Program. Estados Unidos
6. DeLannoy, P (2002): "Road Weather Systems and Services-An Emerging Technology in Canada" New Challenges For Winter Road Service. XIth International Winter Road Congress Sapporo, Japón. AIPCR Asociación Mundial de Carreteras. París
7. Knudsen, F (1998): "The Danish Winter Management System". Xth International Winter Road Congress, Lulea, Suecia Pp 805-816. AIPCR Asociación Mundial de Carreteras. París, Francia
8. Toivonen, K y Kantonen J (2001): "Road Weather Information System in Finland". Transportation Research Record 1741 pp 21-25. TRB, Washington DC, Estados Unidos
9. Karlberg, N (1998): "Sweden's Road And Weather Monitoring System". Traffic Technology International. 1998/02/03 pp52-4
10. Noort, M(1997): "Winter Maintenance in the Netherlands". Snow Removal and Ice Control Technology Conference, Reno, Nevada. TRB, Washington DC, Estados Unidos
11. Wilson, M (2001): "21st Century Winter Service in the United Kingdom"
12. Ledent, T (2002): "METEOROUTES: Methodology of a New Concept in the Walloon Region". New Challenges For Winter Road Service. XIth International

Winter Road Congress Sapporo, Japón. AIPCR Asociación Mundial de Carreteras.
París, Francia

13. Rămă, P (1999): "Effects of Weather Controlled Variable Speed Limits and Warning Signs on Driver Behavior". 78th Annual Meeting Proceedings, Transportation Research Board, Washington DC, Estados Unidos.
14. Niebrugge, L (2002): "Centralized Winter Service for Motorway Centers" New Challenges For Winter Road Service. XIth International Winter Road Congress Sapporo, Japón. AIPCR Asociación Mundial de Carreteras. París, Francia
15. Kraan, M et al. (1999): "Evaluating Network Wide Effects of VMS's in the Netherlands" 78th Annual Meeting Proceedings, Transportation Research Board, Washington DC, Estados Unidos